

[一般論文]

竹炭プロジェクト

— 竹炭による環境保全に関する学際的研究 —

長谷川 純一、野浪 亨、河村 典久
大友 昌子、檜山 幸夫、鈴木 勝也

1. プロジェクト概要

1.1 背景

東北の原発事故は、放射性汚染が人間生活に与える影響の大きさを考えさせる大きな契機となった。とくに、セシウムやストロンチウムなど半減期の長い放射性物質は、その影響が長く続くため、迅速で高効率な除染や処分場の確保が求められる^[1]。放射性物質の吸着・除去には従来から鉱物のゼオライトなどが利用されているが、近年、竹を焼成してできる“竹炭”にも比較的高い吸着性能のあることが分かってきた [活動実績 16]。ゼオライトは輸送や製造コストが高いうえ、セシウムなどを吸着させたあともそのままの状態で放置するしかなく、保管スペースの問題が残る。これに対して、竹炭は後で燃やすことができるため、吸着させた放射性物質だけを濃縮して取り出せるメリットがある。

一方、全国各地に点在する竹林は、所有者の高齢化や竹材の資源化の難しさなどから、整備や保全が十分に行われていない。里山環境保全の一環として竹林整備事業やボランティア活動などが行われているものの、いずれも小規模であり、竹林の拡大や竹藪化の進行をとどめるまでには至って

いないのが現状である。

1.2 目的

上述の背景から、中京大学では、2013 年 4 月に人工知能高等研究所と社会科学研究所の研究員有志が集まり、竹を題材にした共同研究プロジェクト「竹炭プロジェクト」を立ち上げた^(脚注 1)。このプロジェクトの目的は、放射性微粒子の吸着性に優れた竹炭の作製方法を開発し検証すること、および、竹に関わる社会的問題を環境・生活・消費等の面から調査・検討することである。

具体的には、目的 に対しては、人工知能高等研究所のメンバーが中心となり、次の項目を分担して検討することとした。

- ・竹炭の作製方法（焼成温度・時間）と吸着性能との関係解明
- ・豊田キャンパスに実験用炭焼き窯の設置
- ・竹炭を利用した除染用製品の設計・試作
- ・試作品による実際の汚染地域での実証実験
- ・竹炭以外の炭を対象にした微粒子吸着性能の分析

また、目的 に対しては、社会科学研究所のメンバーが中心となり、次の項目について調査・検討を行うこととした。

- ・地球温暖化が及ぼす竹の育成環境の変化
- ・竹林保全に対する人口減少・少子高齢化の影響
- ・消費行動の変化がもたらす竹材生産量の減少
- ・竹材の新しい資源化動向
- ・竹材活用へ向けた地域自治体や市民活動の動向

脚注 1) 当初は体育研究所を加えた 3 研究所でスタートしたが、課題の絞り込みを行う過程で、現在の 2 研究所が主導する形になった。

1.3 経緯と現状

本プロジェクトは2013年4月の立ち上げから約7年を経過した。当初は研究所のプロジェクトではなく、あくまで研究所の研究員有志による共同研究の形を取った。研究所の正式なプロジェクトとなったのは、社会科学研究所では2017年度（研究期間3年）、人工知能高等研究所では2018年度（研究期間1年）からであり、それまでの研究経費は、各メンバーの個人研究費や各メンバーが獲得した外部資金（公的研究費、委託研究費等）によった。

前節で述べた科学的検証に関しては、これまでに予定した計画目標をほぼ達成した。研究の成果は、学会論文誌、国内外の学会大会、講演会などに発表したほか、新聞報道、テレビ報道、技術展示・デモ、WEB公開などを通して公表した。また、企業等の委託研究費や行政の公的事業費の獲得にも成功している（末尾の活動実績参照）。

現在は、竹炭以外に珉殻炭を対象にした分析も並行して進めており、それぞれの炭の微粒子吸着特性の違いが明らかになりつつある。また、連続切片の電子顕微鏡写真から竹炭の3次元形状を復元・解析する研究も計画しており、科研費に応募中である。

本稿では、本プロジェクトがこれまで7年間に行ってきた主な活動とその成果を報告する。以下、2.では竹炭の吸着特性に関する最新成果、3.では本学キャンパス内で実施した竹炭作製の実際、4.では実際の汚染地区で行った除染実証実験、5.では竹林問題の対策と活用に関する検討結果について述べる。

2. 技術的検証 竹炭のセシウム・ストロンチウムの吸着特性

2.1 背景

植物は常温・常圧で特殊な装置も必要とせず、自己組織化の結果得られた精妙な組織構造を有している。同じような組織をもつ材料を人工的に再現・合成しようとする、高度な技術やコストを必要とするが、我々は、炭素化などの方法でその構造を長期間にわたって安定に利用することが可能である。このような生物由来炭素化合物である竹炭や籾殻炭はその構造の特徴を生かして、吸着材等として利用されているが、今後は土壤改良（保水性や排水性の改善、カリウムの供給源）や炭素固定技術、温室効果ガス抑制（ CH_4 や N_2O の土壤からの発生抑制）等で循環型社会に貢献すると考えられる。

竹炭が金属イオンを吸着するのは、主に、細孔への物理吸着、酸性官能基への化学吸着、竹炭が含有する金属イオンとのイオン交換等による。例えば、道管等を由来とする竹炭のミクロ～マクロサイズの細孔は金属イオンの吸着に大きく寄与するが、本プロジェクトのこれまでの研究で、金属イオンの種類によっては炭の表面に残存する酸性官能基への化学吸着の役割が大きいことが分かってきた。

例えば、セシウムイオンは、低温で炭素化し有機物を完全に燃焼させずあえて酸性官能基を残した、“未熟炭素化炭”への吸着効果が高いことを明らかにした。本プロジェクトでは、このような新しい知見に基づいて、複雑で高度な自己組織化構造を有する生物由来炭素化合物を安心・安全な生活の確保に役立てるとともに、新しい人工知能材料の設計のための手掛かりにしたいと考えている。

原発等の事故では大量の放射性物質（放射性ヨウ素、放射性セシウム、放射性ストロンチウム、トリチウムなど）が放出されることが想定でき、

大気や土壌、水などの生態系要素を汚染する可能性がある^[1]。放射性物質の残留量を減らすことが人間生活における被害を軽減する上で重要である。その対策としてゼオライトは放射性廃棄物を吸着・除去するのに有効であるが、その埋蔵量、処理後の廃棄方法など課題も残されている。一方、竹炭などの炭素化材料は、除染使用後に、放射性金属を残して炭を燃焼させることができるので、減容化が期待できる。

竹炭は炭化温度や時間によって、比表面積や pH が大きく変わる^[2]。例えば、リン酸や空気酸化、カリウムなどを用いた賦活処理をおこなうことで、比表面積や表面の酸性官能基が増加することが報告されている^[3-5]。そのため、炭化条件と吸着特性の関係を知り、様々な炭化処理を行った竹炭を組み合わせることで所望の吸着性能を得ることができる可能性もある。

本研究では、竹炭の放射性物質の除染材料としての可能性と、竹害の改善、竹の新たな活用方法の確立を目的とし、孟宗竹の竹炭について、炭化時の温度、時間による pH、比表面積、電気抵抗、カリウム含有量などの基本的性質を評価し、セシウム、ストロンチウムの吸着特性との関係を検討した。

2.2 実験方法

材料は孟宗竹（福岡県産、竹齢 4～6 年）を約 1×1×1 cm のチップ状に切断し、50℃で 1 ヶ月乾燥し 10.0 g をるつぼ（アルミナ製、容積 180 cm³）に入れ、アルミナ製の蓋をして、電気炉（ヤマト科学社製；FO200）により空気雰囲気中で昇温速度を 30℃/min として所定の炭化温度に到達後保持して炭化した。炭化後は自然冷却し、これをチップ状竹炭試料とした。このチップ状竹炭試料を乳鉢ですり潰し、250 μm メッシュのふるいを通してものを竹炭粉末試料とした。

セシウム、ストロンチウムの吸着実験を以下のように行った。塩化セシウム（和光純薬工業株式会社製、試薬特級）、塩化ストロンチウム（和光

純薬工業株式会社製、試薬特級) を蒸留水に溶かし、セシウムおよびストロンチウム濃度が 10.0 mg/L の水溶液をそれぞれ調製し塩化セシウム水溶液および塩化ストロンチウム水溶液とした。竹炭粉末試料各 1.00 g をそれぞれ塩化セシウム水溶液および塩化ストロンチウム水溶液 100 ml に添加した。1 時間攪拌後、セシウムおよびストロンチウムの濃度を偏光ゼーマン原子吸光光度計 (Z-2300 ; 日立ハイテクノロジーズ社製) で測定した。

2.3 結果と考察

600 で炭素化した竹炭の電子顕微鏡写真を図 2.1 に、セシウム、ストロンチウムの吸着実験の結果を図 2.2 に示す。セシウム吸着量は 1000 で 3 時間炭化した竹炭では 7.90%であったのに対して 400 で 3 時間炭化した竹炭は 70.9%と約 9 倍の吸着率の差を示した。一方、比較のために評価したゼオライトのセシウム吸着率は 90%以上と竹炭よりも優れていた。未炭化の竹は約 20%のセシウム吸着率を示した。これは 1000 で炭化した竹炭より高いが、800 以下で炭化した竹炭より低い値である。

竹炭のセシウム吸着率と比表面積の関係を図 2.3 に示す。竹炭のセシウ

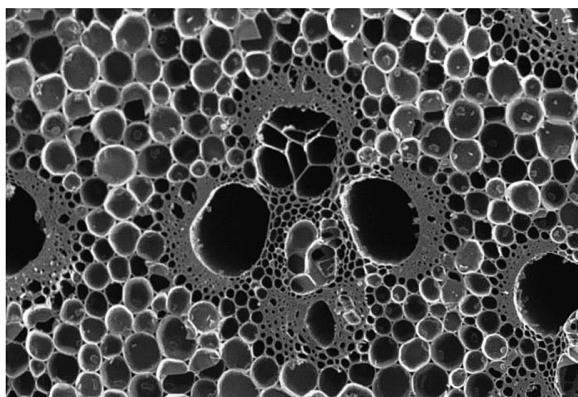


図 2.1 竹炭の走査型電子顕微鏡写真

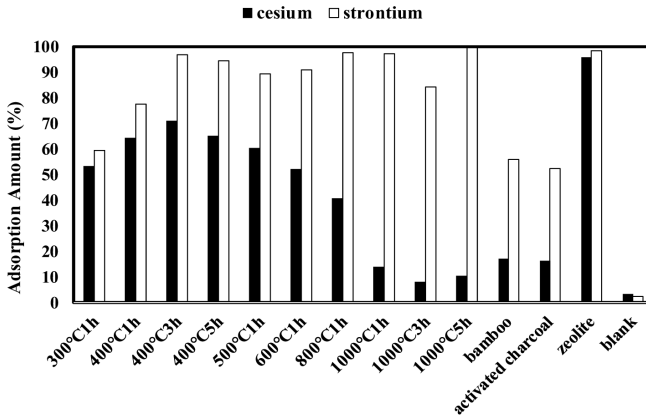


図 2.2 竹炭の炭素化温度と水溶液中のセシウム、ストロンチウムの吸着率の関係

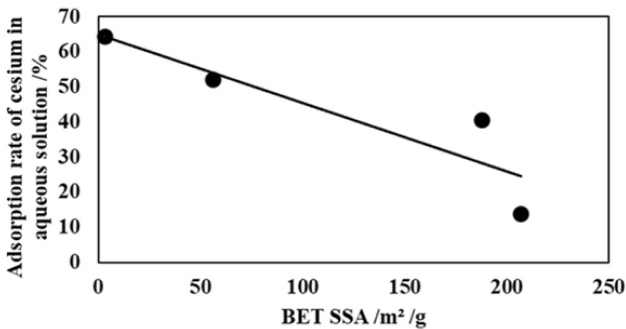


図 2.3 竹炭の比表面積とセシウム、ストロンチウムの吸着率の関係

ム吸着率と比表面積には負の相関の傾向があることがわかる。特に 1000 で 3 時間炭化した竹炭は 400 で 3 時間炭化した竹炭の 10 倍以上の比表面積を有する。従って、竹炭のセシウムの吸着能には細孔への物理吸着も寄与していると考えられるが、細孔への吸着よりも以下に示す酸性官能基等の寄与が大きい可能性がある。

図 2.4 のフーリエ変換赤外分光 (FT-IR) スペクトルでは、400 で 1

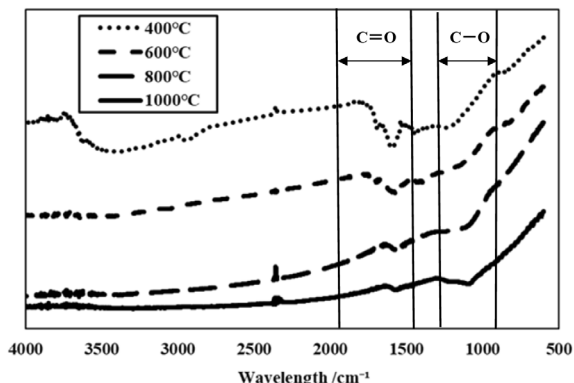


図 2.4 竹炭の FT-IR スペクトル

時間の炭化で存在したカルボキシル基由来の $\text{C}=\text{O}$ 伸縮運動 (1600 cm^{-1}) とフェノール性ヒドロキシル基 (1224 cm^{-1}) によると考えられるピークは炭化温度が上昇するにつれ減少している。B.G. Ershov らは炭に存在するフェノール性ヒドロキシ基の量が多いほどセシウム吸着能が高いと報告している^[6]。

また山中ら^[7]によると、竹炭には表面に電子雲が存在する。一般に有機物は炭の表面の電子雲の静電的相互作用によって吸着されるが、炭素表面上の酸性官能基が有機物吸着を阻害すると報告されている^[8]。そのため酸性官能基が有機物の吸着を阻害しセシウムの吸着に寄与している可能性がある。以上から、炭化温度が比較的低い竹炭では炭素化後も酸性官能基が残存しているためセシウムの吸着率が高いと考察した。

図 2.2 に示すように各竹炭はストロンチウムを 59.5～99.5% 吸着した。ゼオライトのストロンチウム吸着率は 99% 以上と高かったが炭化条件によっては同程度の吸着率を示す竹炭もあった。未炭化の竹のストロンチウム吸着率はすべての竹炭よりも低い約 55% であった。

竹炭などの炭素材料においてはストロンチウムの吸着は酸性官能基の量

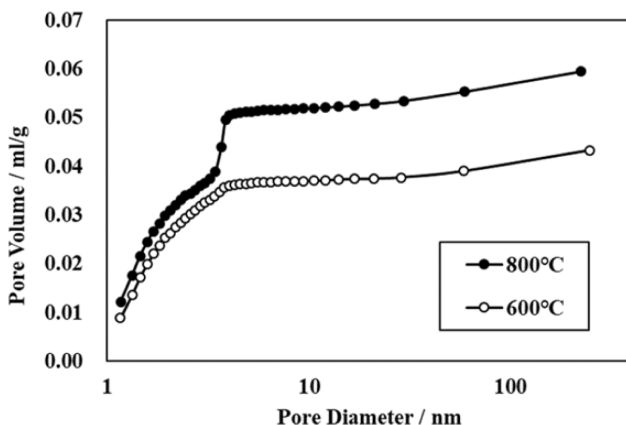


図 2.5 竹炭の細孔分布

よりメソ・マクロポアの存在が寄与すると報告されている^[9]。J.R. Utrilla らは、セシウムやストロンチウム、コバルトなどの金属イオンの活性炭への吸着はミクロポアではなくメソポアの量が多いと増加すると報告している^[10]。本研究でも図 2.5 のように、炭化温度の高い竹炭のほうがメソポアが増加している。竹炭の比表面積とストロンチウム吸着率の相関係数は $R = 0.911$ であった。竹炭の炭化が進むとメソポアが発達し比表面積が大きくなりストロンチウムの吸着率が上がる傾向があると推測した。以上から、ストロンチウムは、セシウムの場合と異なり、細孔への吸着の寄与が大きいと想定できる。

また、炭はその孔隙内にカリウムなどを灰分という形で含む。カリウムはストロンチウムとイオン交換することがあると報告されている^[11]。けい光 X 線 (XRF) により測定した各竹炭のカリウム含有量とストロンチウム吸着率の相関係数は $R = 0.955$ であった。特に孟宗竹はカリウム含有量が他の植物由来の炭化物と比較して非常に多い。竹炭は高温で炭化するほど灰分が増加する。また、竹炭に含まれるカリウムの 51% が別の陽イオンと置き換わる交換性であると報告されている^[12]。さらに、 Sr^{2+} のほうが

K^+ や Cs^+ より正荷電が強いので竹炭表面に吸着されやすいのであろう。以上のことから、竹炭に存在するカリウムはストロンチウムとイオン交換する可能性がある。以上の結果より、竹炭へのストロンチウムの吸着は竹炭に含まれているカリウムとのイオン交換と細孔のメソポアへの吸着の寄与が大きい可能性がある。

2.4 まとめ

孟宗竹の竹炭について、炭化時の温度、時間による比表面積、酸性官能基量、カリウム含有量などの基本的性質を評価し、セシウム、ストロンチウムの吸着特性との関係を検討した。

その結果、以下のことが分かった。

1. 竹炭のセシウムの吸着能には細孔への物理吸着よりも炭化後のに残存する酸性官能基等の寄与が大きい。そのため、セシウムの吸着能は比較的低温で炭素化した、「未熟炭素化竹炭」が優れていると想定する。
2. ストロンチウムの吸着は竹炭に含まれているカリウムとのイオン交換と細孔のメソポアへの吸着の寄与が大きい。そのためストロンチウムの吸着には比較的高温で炭素化した竹炭が適している。

3. 竹炭の作製

3.1 竹の特質と用途

近年、里山として利用されてきた地域が管理されないまま放置されて、雑木林となり、里山環境を脅かすに至っている。中でも竹林は管理されていない場合、その成長の早さから他の植物よりはるかに高くまで生長して周りの植物の成長を妨げる。また、竹は地下茎で広くその面積を拡大するために、短期間に新たな地域へとその勢力範囲を拡大して、しばしば近隣地域との争いに発展することがある。

管理が放置された竹林は、またたく間にその密度を増して、数年後には全く立ち入ることすらできない状態となる。

孟宗竹については、4月から5月にかけて、筍を収穫することができる。しかし、筍の生長は著しく早く、たえず監視していないと、数メートルに生長してしまっただけで食用にはならなくなり、筍として食用とするにも限度がある。

マダケ（真竹）については、これを竹材として種々加工し、竹製品とすることができるが、大きな籠などを長期的に作製して利用しない限り、使用できるのはごくわずかである。竹材として利用する場合、まず基本的には竹ひごの作製や薄く割く作業が必要で、この技術を短期間に習得することは困難である。

竹の利用として最も効率的なものは、竹炭とすることである。金城学院大学（愛知県名古屋市中区）の大森キャンパス内には、2009年に竹炭作製のための耐火煉瓦づくりの炭焼き窯が設置された^[13]。次いで、2013年9月より中京大学豊田学舎においても炭焼き窯を設計図に従って設置した。材料の竹は、豊田学舎周りにあるマダケを伐採し竹炭の材料とした。

3.2 炭焼き窯と空気遮断方法

炭焼き窯で最も考慮しなければならないのは、炭焼きが終了し窯を冷却する際、高熱に炭化した炭が燃焼して灰になってしまわないよう、空気を完全に遮断（密閉）することである。これまでの炭焼き窯では、炭焼き加熱後焚口を粘土で密閉する方法がとられており、冷却した窯の焚口などの粘土を毎回取り除いて、焼きあがった炭を取り出さなければならない。そこで、空気遮断の方法として煙突の封鎖と砂を用いることにした。

小規模で行われるドラム缶利用の場合には炭焼き窯内の温度が700℃近くになるために、何らかの空気遮断と断熱の方法をとる必要があった。著者はドラム缶を用いてこれまで数か所の炭焼き窯を設置、実施してきたが、

その場合、空気遮断と断熱のために砂を用いる方法を採用してきた。ところが、恒久的な炭焼き窯とするためにはドラム缶による方法では耐久性が問題となり、耐火煉瓦による炭焼き窯の設置が必要となる。

通常恒久的な炭焼き窯では、粘土などで天井を固めることになるが、小型炭焼き窯では内部の広さが間口：50 cm × 奥行：70 cm × 高さ：50 cm と狭いために、市販の小さい 20 cm の耐火煉瓦では天井を固定することはできず、その代わりに長さ 60 cm の耐火煉瓦を載せ、更にその上に川砂を載せて窯全体を砂で覆うことにした。これにより内部の温度は外に漏れることなく、更に空気の侵入もなく、空気を遮断することが可能となる。

通常砂は空気を通すように思われるが、数センチの厚さの砂の層と煙突の封鎖によって、空気はほとんど流通することなく完全に遮断されることがわかり、焚口と炭の取り出し口についても砂で覆う構造とした。砂を用いる空気遮断方法は今回初めての試みである。

3.3 炭焼き窯『典久窯』の設置

金城学院大学大森キャンパスでの炭焼き窯設置と数十回の竹炭作製の経験を踏まえ、中京大学豊田キャンパスにおいて、耐火煉瓦を用い、砂による空気遮断法を取り入れた炭焼き窯『典久窯』の作成を開始した。

通常の長さ 20 cm 程の耐火煉瓦は、常時確保が可能であるが、長さ 60 cm 以上の製品の確保が必要である。多治見の煉瓦工場において、目的の長尺耐火煉瓦があることを知り、平成 25 (2013) 年 9 月 27 日に、通常耐火煉瓦と共に必要な数の長尺煉瓦を豊田学舎の窯設置場所に確保した。通常耐火煉瓦 180 個、長尺耐火煉瓦 30 個、外壁用ブロック各種 60 個を確保し、耐火セメント、普通セメント、鉄筋、1 m 煙突用ステンレス管 5 本、其他必要な素材を揃えて、9 月 30 日、あらかじめ作成した図面 (図 3.1) を基に基礎工事から始め、中京大学工学部野浪研究室、長谷川研究室の応援を受けて炭焼き窯作成に取り掛かった。写真 3.1 は作成過程の様

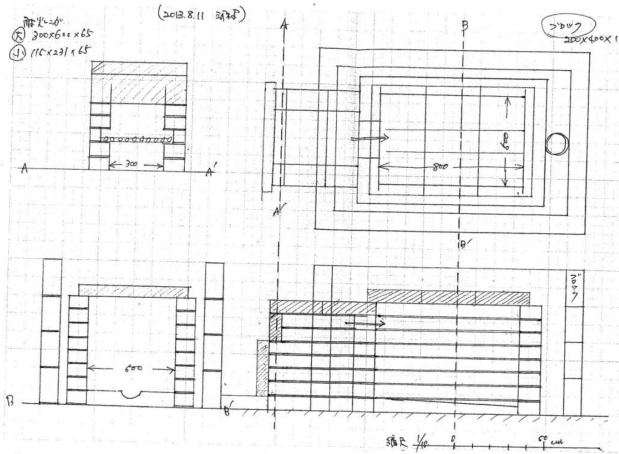


図 3.1 炭焼き窯『典久窯』設計図面

子である。

炭焼き窯『典久窯』は11月5日に完成し、内窯と外壁のブロックとの間に川砂を詰めた。

3.4 炭焼きの実際

竹炭にするべくマダケの確保は、豊田学舎内の周りにある竹藪から、11月5日、野浪研空室の協力を得て切出し、長さ70cmに切りそろえ、さらに半割、太い竹は四割にし、節を取り除いて炭焼乾燥した。

一か月後の12月6日、完成した炭焼き窯におよそ60kgを敷き詰め、60cmの長尺耐火煉瓦を載せ、川砂を載せて準備完了となる（写真3.2）。炭焼き中の窯の温度は、熱電対による温度センサーを予め窯の内部に入れて、加熱の状況を記録する。

焚口から燃料の薪に点火し、窯本体の竹材料に熱気が送り込まれるようにして送風し続ける。およそ45分で自然状態（じねん：窯本体の材料に熱気が伝わり、材料自ら燃えて脱水から炭化状態に移ること）になると煙



写真 3.1 耐火煉瓦による炭焼き窯『典久窯』の作成過程
(左：窯下段、 中：焚口、 右：窯本体完成)



写真 3.2 竹材料の調製と窯詰め作業の様子
(左：豊田キャンパス内での竹材の調整、 右：窯に詰めた竹材)

突内部で上昇気流が生じ、窯内部の温度が 250 に達し、煙突の温度が 50 度ほどになると煙突下部から竹酢液が流出し始める。流出は煙突の温度が 100 になるまで続く。この後は焚口から薪を補充する程度で、次第に炭化が進行する。さらに温度が上昇すると、タール状の粘調液体が流出してくる。

窯の内部の温度は上昇し、5 時間ほどすると 600 を超えて炭化も最終段階となり、それまでの白煙がやや透明の白煙となり、更に青み掛かった透明の白煙となって、ほぼ炭化は終了する。

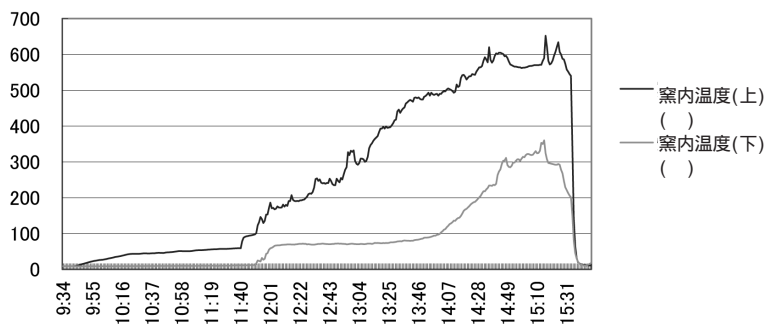


図 3.2 窯内部温度（上）と煙突温度（下）のグラフ



写真 3.3 炭焼き作業の様子

（上左：焚き上げ作業、上右：竹酢採取；下左：紫煙、
下右：完成した竹炭（竹 65kg 竹炭 15kg）

炭化終了後、焚口に普通耐火煉瓦をはめて熱を遮蔽し、さらに長尺耐火煉瓦で焚口を綴じ、隙間には川砂を入れて出来るだけ空気の入らないようにする。竹酢採取用の冷却煙突を外し、耐火煉瓦を載せて完全に空気を遮断し、温度計を外して炭焼は終了する。内部の温度が下がるまでに2日間ほどかかる。12月6日、冷却して平温になった後、砂を取り除き、蓋の長尺耐火煉瓦を除いて出来上がった竹炭を取り出す。焚口に近いところはやや灰化していたが、ほぼ投入した竹の形態が、そのまま縮小したものとなった。

孟宗竹の場合、乾燥竹の長さが75cmであったものが、炭となった時には60cmとなっており、重量変化は、65kgの材料から15kgの竹炭と、3割ほどの竹酢が得られた。ただし、耐火煉瓦炭焼き窯の場合は、完全炭化しない部分もわずかに見られた。

3.5 竹炭の構造的特徴

こうしてできた竹炭は、電子顕微鏡写真(図2.1)からも分かるように、非常に微細な構造をしており、表面積は1g当たり約200m²と際だって大きい。微粒子の吸着力も非常に大きく、吸着炭として冷蔵庫の脱臭剤、環境浄化の材料などに利用できる。同じ構造的特徴を持つ木炭と比べ、竹炭はより多肉で多孔質であることが分かっている。

4. 竹炭による除染の実証実験

2014年と2015年の2年間、福島県の放射能汚染地区を対象にして、竹炭の除染効果を確認するための実証実験を行った。以下では、(1)汚染地区の視察、(2)実験方法の検討、(3)実証実験の順に述べる。

4.1 汚染地区の視察

実証実験に先立ち、放射能汚染地区の現状と除染作業の実態を把握するため、2014 年 10 月 31 日、福島県飯館村、川俣町、二本松市の汚染地区を視察した。参加者は、中京大学側 6 名（長谷川、野浪、河村、鈴木、大友、檜山（中京大学法学部教授・社会科学研究所所長））と現地世話人・齋藤正氏（二本松市在住、元トヨタ自動車株式会社社員）の計 7 名である。この視察で、汚染地域の生々しい現状を知るとともに、汚染面積の広さと除染作業の困難さを改めて感じた（写真 4.1）。

4.2 実証実験方法の検討

上記視察の当日、二本松市復興支援事業協同組合の除染作業現場事務所会議室にて、除染への竹炭の具体的な利用方法および実証実験の実施方法に関する検討会を行った。出席者は、上記視察メンバー 6 名に、現地関係者として、安斎一男氏（二本松市復興支援事業協同組合専務理事）、嶋原久勝氏（二本松市市民部放射能測定除染課除染係長）、安斉芳広氏（㈲福芳建設代表取締役・福島県建築大工業協会監事）の 3 名が加わった（写真 4.2）。

検討会では、中京大学側から長谷川、野浪、河村 3 名が竹炭プロジェクトの概要を説明し、竹炭を封入した除染袋の試作品の紹介を行った後、これらの技術が現地での除染作業に役立つか否かについて全員で意見交換を行った。現地出席者からの主なご意見は以下の通り。

安斎専務理事

福島県下には、2 つの種類の汚染区域がある。国直轄による除染特別区域が 11 市町村、汚染状況重点調査区域が 40 市町村である。二本松市は の区域である。除染方法が環境省で認められると、補助金が交付される仕組みとなっている。



除染作業中の車

除染作業中の人々

除染作業の現場



山と積まれた汚染土

表土がはぎ取られた山

各所に設置された線量計

写真 4.1 視察現場の風景



写真 4.2 意見交換会出席メンバー（前列左から 2 人目：安斎専務理事、同中央：安育代表取締役、後列左端：嶋原除染係長）

除染作業はかなり進んでおり、二本松市では現在の作業は2015年7月には終了する予定。また、残る除染作業も2016年度で終了予定。

住宅地域の除染作業では、道路上のコンクリートやアスファルトに付着したあるいは流れ込む放射性物質の高圧洗浄を行っているが、洗浄後の水に放射性物質が含まれており、この水処理が問題となっている。この作業で道路脇の側溝に汚染水が流れるが、ゼオライトのネット袋詰を3個並べて吸着させている（写真4.3参照）。これでほぼ25%の吸着率と言われている。田んぼの除染にゼオライトが役所から無料で配布され、これをすきこんだ。

住宅地は5センチの深さで、土を削り取る除染。森林除染は最も難しく、草や枯れ葉など山の斜面のゴミを取り除くが、1～2年すると再び汚染されたゴミがたまるので、きりが無い。

竹炭除染の可能性としては、

1. 山と住宅地の境に、何らかの方法で竹炭ブロックを3段ぐらいセットして、山から出る水を土留めして濾過する。



写真 4.3 道路側溝に置かれたゼオライトのネット袋詰（3個設置してあるのは、それぞれ、泥水を止めて、溜めて、上澄みを流すため）

2. 土と水が混ざった泥水の放射性濃度が高く残っている農業用水路、市道路側溝、防火水槽などの泥水を除染したいが、まだ行われていない。この汚染除去に竹炭が有効かもしれない。防火水槽では 上部に澄んだ水、濁り水、泥の 3 層になってたまっている。側溝などの水分を含んだ泥を土嚢に入れて回収した場合、乾くのを待って処理することになる。土嚢から汚染した泥水が流れ出るが、そのまま放置している。乾かした土嚢には汚染土が残り、あとで中間貯蔵に持って行くという方法。これに竹炭袋を使って、放射性物質（セシウム）を吸着出来れば汚染水を垂れ流しにしないで済むのではないか。

鳴原除染係長

安斎専務理事と同じ意見である。いずれにしても、竹炭除染が採用できるか否かは、除染効果と費用単価で決まってくる。爆発的な効果があるといいのだが。

除染後の処分は、確かにゼオライトより竹炭の方がよい。単価は竹炭が 30 リットル（約 10 キロ）で市販 1,500 円、ゼオライトは 25 リットルで 1,300 円。ほぼ単価は同額。ただ竹炭は市販価格なので使うとなればもっと安くなる。ゼオライトとの比較で費用対効果が高いということになると、環境省の補助金交付対象となり得る。

安斉代表取締役

富岡町にある「双葉砕石工業」が浪江町の砕石場で採取した砕石が放射能汚染されており、これを使った建築物の放射線濃度が高く問題になっている。これを除去する方法はないか。

汚染された砕石を使用した（出荷停止の指示が国からなく）生コンを使って建てた住宅の線量が高く、これを遮蔽する方法はないだろうか。これで生コン会社が倒産した。

竹を土壌改良に利用をしようと、知り合いの人が100万円で炭の破碎機を購入した。まさにこの作業を始めようというときに、原発事故が起きた。

安斎専務理事

竹炭の実証実験をするには、個人宅は所有者の承諾が必要で慎重にした方が良い。公共物での実験が良い。実験を市が管理する公共施設で行うには、市の承諾と協力で実施可能である。また、竹炭を土に混ぜると連作障害がないといわれている。竹炭は農業で生かすように考えてもらいたい。

以上の意見交換会の内容から、除染に対する具体的な竹炭利用法としては、次の5つが考えられる。

水口での利用（ゼオライトの代替品として）

【利用法1】ゼオライトをそのまま竹炭に替える。

【利用法2】竹炭入り不織布シートをいくつか並べ、微細土粒子をろ過すると同時にセシウムを吸着する。利用法1よりも効果的と考えられる。

道路側溝や農業用水路での利用

【利用法】上記 とほぼ同様（写真4.3）

汚染水防護壁での利用

【利用法】竹炭入り不織布を防護柵の前に設置し、放射性物質（セシウム）を吸着し、住宅地および農地への放射性物質（セシウム）移動を防げる可能性を持つ。数段配置することも考えられる。これで吸着効果を高める事が可能である（図4.1）。

防火水槽での利用

【利用法】上澄みは逃がし、そのすぐ下に沈殿した泥の部分を竹炭入り不織布袋に入れる（図4.2）。

連作障害への対応

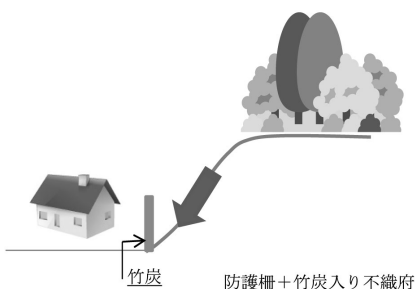


図 4.1 汚染水防護壁での竹炭の利用図

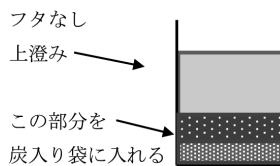


図 4.2 防火水槽での竹炭の利用図

【利用法】竹炭粉末を使用する。(粉碎方法は企業により検討済)

4.2 実証実験

2015 年 8 月 17 日に、二本松市復興支援事業協同組合の除染作業現場事務所会議室にて、実証実験の最終打合せを行い、約 1 か月後の 9 月 26 日に、同市内の防火水槽にて実証実験を行った (写真 4.4)。

実験では、防火水槽から大部分の水を排水した後、残った水 (汚泥を含む) の一部をサンプルとして竹炭を塗り込んだ袋 (除染袋) に通し、通過前と通過後の水に含まれる放射線量を比較する方法で行った。その結果、竹炭には比較的高い除染能力があることが確かめられた。しかし、竹炭除



写真 4.4 実証実験の様子 (2015 年 9 月 26 日、二本松市内の防火水槽にて)

染の実用化のためには、より汚染度が高いとされる場所（山林やため池等）での実験が必要であること、試作した除染袋の耐久性や自立性に改善の余地があることなども分かった。今後、除染袋の改良のほか、県や国の協力を得た実装実験が必要である。

5. 竹林問題の対策と活用

既述のように、2011 年 3 月に発生した東日本大震災による津波と福島原子力発電所で引き起こされた原発事故は、自然災害が人為的災害に転化する甚大な負の人災として、理系文系を超えた学際的なアプローチと対策を必要としている。前章までは、理系アプローチから、炭化した竹資源が原発事故によって排出されたセシウムやストロンチウムの吸収に効果を有することを明らかにしてきた。本章は、文系アプローチとして、地球温暖化による竹の生育環境の拡大傾向、人口減少と少子高齢化により適切な管理がなされない竹林の増加状況、そしてプラスチック製品等の増加と竹材生産量の大幅減少および近年の紙資源としての竹材の動向について、述べていこう。その上で、竹資源を活用するための地域自治体の試みや市民活動についても言及していく。

5.1 竹林の分布

モウソウチクとマダケの生育拡大が、里山の生態系や生物多様性への脅威となっているとの認識は、竹林面積が増加する 1970 年代から徐々に認識されてきたが、現在、その背景には既述のような大きな 3 つの要因が想定されている。本節では、はじめに竹林の分布について述べていく。林野庁報告による 2018 年の『竹の利活用推進に向けて』のデータでは、日本の国土面積 3,780 万ヘクタールのうち、森林面積は 2,508 万ヘクタールで、国土の 3 分の 2 を占める。そのうち、竹林面積は 2012 年で 16 万ヘクター

表 5.1 竹林面積の多い府県 (単位：千 ha)

| 順位 | 県名 | 2007 年竹林面積 | 2012 年竹林面積 | 増減 |
|----|------|------------|------------|-----|
| 1 | 鹿児島県 | 16.2 | 16.0 | 0.2 |
| 2 | 大分県 | 13.6 | 13.8 | 0.1 |
| 3 | 福岡県 | 11.9 | 12.9 | 1.0 |
| 4 | 山口県 | 12.1 | 12.1 | - |
| 5 | 島根県 | 10.1 | 10.9 | 0.8 |
| 6 | 熊本県 | 10.6 | 10.4 | 0.2 |
| 7 | 千葉県 | 6.1 | 6.0 | 0.1 |
| 8 | 宮崎県 | 4.9 | 5.5 | 0.6 |
| 9 | 京都府 | 5.6 | 5.5 | 0.1 |
| 10 | 岡山県 | 5.1 | 5.4 | 0.3 |
| | 全国計 | 159.2 | 161.4 | 2.2 |

出典：資料は各年 3 月 31 日現在。林野庁『竹の利活用推進に向けて』2018 年 5 頁より引用

ルで、全森林の 0.6%であり、鹿児島県、大分県、福岡県山口県など、九州や中国地方などの西日本に多く分布している（表 5.1）。竹林面積が減少する地域もあるが、全国動向をみると、増減割合は長期的に微増傾向で推移している^[14]。

5.2 地球温暖化という竹林生育環境の変化の可能性および適切な管理がなされない竹林の増加状況

竹林の拡大については多くの課題や問題が指摘されているが、地球温暖化がモウソウチクとマダケの生育を促すという予測がなされている。温暖化の進行とともに、竹の生育にとって適正な環境となること、そして竹林拡大が、里山の生態系・生物多様性に負の影響をもたらすことが気候モデルで予測されている。パリ協定に準じて温暖化を 1.5 以下に抑えると、4 気温が上昇した場合に比べて竹の生育に適した環境の増加が緩やかだった、との指摘である。竹林の拡大については、気候変動・温暖化にも着目

する必要があるようだ^[15]。

もう1つの大きな課題は、竹林管理力の減退である。その背景としては、人口減少・高齢化、里山管理力の縮小、耕作放棄、獣害などがあげられ、これらから竹林管理意欲の減退も要因としてみられるところである。竹林のすべてが周辺に拡大・侵入しているわけではなく、現在も適正な管理が行われている竹林は多い。問題となる竹林は、竹林拡大によって植生の衰退を引き起こしている竹林で、これは次の4つの態様に分かれる。林野庁『竹の利活用推進に向けて』（2018）から引用しておこう。

管理が適正に行われている管理竹林、 放置竹林は、かつて管理されていて現在放棄されている竹林で、これは管理を再開することで再生可能である、 拡大竹林は、竹林でなかった場所が竹林化する、 木竹混交林は、竹林でなかった場所に竹が侵入している場所である。4つの態様のうち、植生の衰退は と において生じており、竹林整備の優先度が高い。竹林を抑制して、森林化を図るには、植栽などによって樹木を造成するとともに、竹生育の性質を良く踏まえたうえで、見回りや管理などを継続して行う必要がある^[16]。

5.3 生活道具や紙材料としての竹の利活用

竹の利活用については、1950年代後半から始まる高度経済成長と離農者の急増という産業構造の変化によって、大きく変化してきた。そのなかでも、日常雑貨、建築資材、造園資材そして伝統工芸品への需要の鈍化は、竹の利活用に大きな影響を与えてきた。従来の竹の利用例を表5.2に示す^[17]。

現在でも竹をめぐる恒常的な需要として、食材タケノコ、竹炭、竹酢液などがある。食材タケノコで、最も人気があるのがモウソウチク、甘めの八チク、寒冷地のネマガリタケなどがある。たんぱく質やビタミンを豊富に含んだ低カロリー食品で、食物繊維も多い。しかしながら、食材たけの

表 5.2 竹の利用例

| | |
|---------|---|
| 日常雑貨 | カゴ・ザル・串・団扇・扇子・ものさし・食器類・竹簾・すだれ・物干し竿・傘・竹光など |
| 建設・建築用品 | 外装材・内装材・竹足場・海苔竹・魚礁など |
| 造園用資材 | 垣根・植木支柱など |
| 伝統工芸品 | 茶道用具・生け花用具・尺八・弓矢・竹刀・釣り竿など |

出典：林野庁『竹の利活用推進に向けて』（2018）13 頁

この生産量は 1970 年代をピークとして、市場の国産シェア率は 1980 年の 70% 近くから 2007 年にはほぼ 7% に減少し、2016 年には 20% 近くに増加している。輸入先の大半は中国である^[18]。食材タケノコを輸入品から国内産に切り替えた例として、2015 年から、フードチェーン王将のメンマに愛媛県産の乾タケノコが使われたことがある。タケノコの乾燥機は乾シイタケづくりに使われてきたもので、乾タケノコと乾シイタケの生産期は重ならないため、乾燥機を乾タケノコの生産期に使うことができるという^[19]。

その他、新たな需要としては、パルプ、バイオマス燃料、繊維、建築部材などがある。繊維を例にあげると、竹繊維を麻系繊維の代替として活用できる可能性があり、複合材料の強化繊維として有力である。しかし需要が増すと安定的な供給が必要となるが、国内での竹材のみでは限界があり、竹材の輸入が必要となるという課題もある。

5.4 竹林をめぐる対策と課題および今後の展望

以上、里山や竹林の管理力の減退に伴う課題・問題の現状および新たな技術開発による竹の利活用について述べてきた。こうした問題や課題の緩和や新たな技術開発および竹産業の育成には、地域の行政や諸機関、多様な産業や市民活動の協力が必要である。先にあげた愛媛県の「乾タケノコ」＝「メンマ」の生産では、愛媛県の森林組合が愛媛県乾たけのこ生産拡大

連絡協議会の事務局を務め、県や各市町村が補助などの形で支援し、さらにJAも協力しているという。ここではさらに竹材による鹿児島県のパルプ生産を例にあげておこう。鹿児島は竹林面積が国内で最も大きい地域であるが、薩摩川内市にある中越パルプ工業が、1998年より竹パルプの生産に取り組み、2009年には竹100%のパルプの生産技術を確立した。これにより、たけのこ生産者が竹林の維持管理により生じる竹材を近隣の竹チップ工場へ運び、さらに製紙工場へと供給されるという。県内の地域自治体では竹林の健全な育成やたけのこ生産および流通などの支援を積極的に行うところも出てきている。このように、行政、産業、開発研究が一体化して、竹材の利活用を高める試みが、一定の成果を示し始めていると言える。

また、森林ボランティア、里山ボランティアなどの市民活動にも着目する必要がある。たとえば、福岡市にある「かなたけの里公園」では、竹林管理、樹林管理、里道再生などを行っているが、ボランティアの募集には、次のような理念と方針が載せられている。

『「かなたけの里公園」は、昔ながらの田んぼ、畑、竹林などがある田園風景を活かして作られた公園です。田畑や周囲の森を舞台として、人の営みにより自然と人とが共生し生まれてきた「里」の環境と「里」にある知恵や恵みを、市民の皆さんと一緒に未来へとつなぎ、育んでいく活動を実施しています。公園には雑木林に混じって竹林があります。竹林を放っておくと徐々に広がって、他の木々や植物の生長を妨げる、生き物のすみかがなくなるなど、里の環境をつくっているさまざまなところに影響が出てきます。里の環境を良い状態に保つために樹林や竹林等の手入れなどをする活動が「里山ボランティア」です。』^[20]

ここに示されたように、地球環境を念頭においたボランティア活動や市民活動が、国内各所で展開されている。こうした活動は都市と農山村を人と人との関係で結び、人的交流と環境保全とを併せもった市民活動であり、その理念による社会的教育的効果の大きさとともに市民意識の育成に大きく貢献している。竹林をめぐる再生可能な資源やエネルギー、また持続可能な天然資源の利活用の研究を通じ、今後もその可能性を探り、行政、産業、研究の各ベースはもとより、ボランティアなどの市民活動も巻き込んだ新たな「価値の創出」と、これを社会開発にまで結びつける活動へと視野を広げる重要性が改めて示されたといえよう。

6. あとがき

本稿では、人工知能高等研究所と社会科学研究所が共同で進めてきた竹炭プロジェクトの概要と主な成果について述べた。本プロジェクトの成果は、論文発表・学会発表はもとより、本学の広報部門や研究支援部門と連携しながら、プレスリリースや講演会・展示会等でも積極的に発表してきた（文末の活動実績参照）。本稿では直接触れなかったが、最近では、除染だけでなく、汚水浄化や水質改善など竹炭の新しい応用も試みている。これらの成果は、大企業をはじめ、中小企業、公的研究機関、さらには環境活動を実践されている個人まで幅広い層の注目を集めており、社会実装に向けた委託研究や共同研究などの研究連携にもつながっている。

今後は、これまでに開発した技術・手法の精度を高めるとともに、電子顕微鏡を用いた竹炭の微細構造の3次元解析解、竹以外の炭材が持つ吸着性能の解明、竹や竹炭の新しい利用法の開発などに取り組む予定である。

謝辞

本プロジェクトを推進するにあたり、炭焼き窯のキャンパス内設置を承諾いただいた梅村学園理事長、竹材の調達や消化設備の使用、学内広報等に便宜を図っていただいた本学法人関係者、実験用窯の建設や竹伐採作業にご協力いただいた本学学生諸君、ならびに、セシウムの測定装置（原子吸光光度計）を使用させていただいた金城学院大学関係者に深謝する。また、本稿末尾の活動実績を取りまとめていただいた中京大学研究支援課・岡田庄治氏に感謝する。

参考文献

- 1) 東京電力福島原子力発電所における事故調査・検証委員会、最終報告、
<http://www.cas.go.jp/jp/seisaku/icanps/SaishyuHon04%280820%29.pdf>
- 2) J. Shibata, N. Murayama, S. Tanaka, H. Koyanaka, S. Koyanaka, *Soc. Chem. Eng.* 39 (2013) 53-59.
- 3) M. Hatake, Y. Amano, M. Aikawa, M. Machida and F. Imazeki, *TANSO* 2004 [No.261] 2-7 [in Japanese].
- 4) M. Sakuma, Y. Amano and M. Machida, *Jpn. Soc. Mater. Cycles Waste Mgmt.* 22 (2011) 337-343 [in Japanese].
- 5) M. Sakuma, R. Wang, Y. Amano and M. Machida, *Jpn. Soc. Environment. Chem.* 22 (2012) 53-58 [in Japanese].
- 6) B.G. Ershov, G.L. Bykov, A.F. Seliverstov, V.V. Milyutin and V.M. Gelis, *Radiochem.* 35 (1993) 699-702.
- 7) S. Yamanaka, M. Machida, M. Aikawa and H. Tatumoto, *Kankyokagaku* 18 (2008) 219-226 [in Japanese].
- 8) S. Turusaki, T. Okubo, A. Itadani, CSJ West Japan Chemistry Forum 93 (2013) [in Japanese]
- 9) K. Mori, M. Iwasaki, K. Mimura and H. Kanda, *Jpn. Soc. Ion Exch.* 26 (2015) 34-40 [in Japanese].
- 10) J.R. Utrilla, M.A.F. Garcia, A.M. Arjona and C.G. Gomez, *J. Chem. Technol. Biotech.* 34 (1984) [No. 34A] 243-250.
- 11) J. Shibata, N. Murayama, S. Tanaka, H. Koyanaka, S. Koyanaka, *Soc. Chem. Eng.* 39 (2013) 53-59.

- 11) T. Kitamura, S. Matumoto and H. Katayama, *Mokuzai Gakkaishi* 45 (1999) 171-177 [in Japanese].
- 12) T. Nagumo, M. and C. Mori, *Jpn. J. Soil Sci. Plant Nutrition* 85 (2014) 37-42.
- 13) 河村典久、小野知洋：炭焼き窯の設置と実際、金城学院大学論集・自然科学編 9 (2), 22-28 (2013.3)
- 14) 林野庁『竹の利活用推進に向けて』2018年5頁より引用
<https://www.rinya.maff.go.jp/j/tokuyou/take-riyou/attach/pdf/index-3.pdf>
 (2019年12月30日閲覧)
- 15) 『JATAFF ジャーナル 6 巻 8 号【特集】資源としての竹の利用技術』2018年8月 公益社団法人農林水産・食品産業技術振興協会刊 http://www.researchgate.net/publication/326987872_JATAFFjanaru6juan8 (2019年12月30日閲覧)
- 16) 林野庁『竹の利活用推進に向けて』2018年8頁より引用
- 17) 林野庁『竹の利活用推進に向けて』2018年13頁より引用
- 18) 林野庁 HP <https://www.rinya.maff.go.jp/j/tokuyou/take/takenoko.html>
 (2019年12月31日閲覧)
- 19) 愛媛新聞 2015年6月4日
<http://www.ehime-np.co.jp/news/local/20150604/news20150604738.html>
- 20) かなたけの里公園
http://kanatakenosato.jp/volunteer_kojin (2019年12月31日閲覧)

プロジェクトの活動実績

【論文発表 (査読付き)】

- 1) Y. Ito, T. Nonami, J. Hasegawa, M. Otomo and N. Kawamura, "A study on the production of bamboo derived porous carbon compounds and cesium and Iodine absorption characteristics", *Japanese Society of Human-Environment System*, Vol. 22, No. 1, pp. 21-28 (2015).
- 2) S. Hayakawa, K. Fukumori, S. Matsubara, Y. Sumi, S. Yamamoto, N. Kawamura and T. Nonami, "Adsorption characteristics of bamboo charcoal by rotary kiln for cesium and strontium in aqueous solution", *Proceedings of the Microelectronics Symposium*, Vol. 26, pp. 331-334 (2016).
- 3) 小林慎也 (4年)、野田光祐、柴田浩史、松原綜一郎、河村典久、野浪亨、粕穀炭の水溶液中のセシウム及びストロンチウムの吸着特性、*材料* 67(10), pp.

898-903 (2018)

- 4) Sasaki Masato (4年), Kobayashi Shinya and Nonami Toru, Relationship between the presence and absence of oxygen at the time of carbonization of rice hull charcoal and adsorption ability of cesium and strontium, Transactions of the Materials Research Society of Japan, Vol. 43 (No. 5), pp. 297-303 (2018)
- 5) Hirofumi Shibata (修2年), Kanie Yusuke, Kato Yuya, Nonami Toru, Anodized Titanium Production Using Titanium Oxide Suspended in Sulfuric Acid Electrolyte and Evaluation of Hydroxyapatite Formation in Simulated Body Fluid, Transactions of the Materials Research Society of Japan, 43(2), pp. 65-70 (2018)
- 6) Kobayashi Shinya (4年), Noda Kosuke, Shibata Hirohumi, Matsubara Soichiro, Kawamura Norihisa, Nonami Toru, Adsorption Properties of Rice Hull Charcoal for Cesium and Strontium in Aqueous Solution, Materials Transaction E, Vol. 60, No. 3 (2019) 458-463
- 7) Shingo Hayakawa, Soichiro Matsubara, Yusuke Sumi, Syo Yamamoto, Norihisa Kawamura, Toru Nonami, Caesium and strontium adsorption ability of activated bamboo charcoal, Int. J. Nanotechnol., Vol. 15, Nos. 8/9/10 (2018) 683-688
- 8) Soichiro Matsubara, Shingo Hayakawa, Yusuke Sumi, Syo Yamamoto, Norihisa Kawamura, Toru Nonami, The caesium and strontium adsorption properties of the bamboo charcoal-contained concrete block, Int. J. Nanotechnol., Vol. 15, Nos. 8/9/10 (2018) 721-728
- 9) 柴田浩史 (修2年)、小柳克樹、松岡秀治、河村典久、野浪亨、Strontium Adsorption Properties of Rice Hull Charcoal Treated with Inorganic Component Elution, TMRS-J, Vol. 44, No. 4, 133-136 (2019)
- 10) 小柳克樹 (4年)、古田愛音、竹内千春、柴田浩史、河村典久、野浪亨、Adsorption of Cesium and Strontium Ions by Alkali-Treated Rice Hull Charcoal, TMRS-J, Vol. 44, No. 5, 165-169 (2019)

【論文発表 (査読なし)】

- 11) 松原綜一郎 (修2年)、野浪亨、竹炭を塗布した不織布の水溶液中でのセシウム・ストロンチウム吸着評価、日本材料学会東海支部第12回学術講演会講演論文集、pp. 39-40 (2018.3)
- 12) 小柳亮樹 (3年)、松原綜一郎、山本翔、河村典久、野浪亨、竹炭粉末を電気

蒸着した不織布のセシウム及びストロンチウムの吸着特性、日本材料学会東海支部第 12 回学術講演会講演論文集、pp. 41-42 (2018.3)

【国際学会発表】

- 13) Shingo HAYAKAWA, Keishi HUKUMORI, Soichiro MATSUBARA, Yusuke SUMI, Syo YAMAMOTO, Norihisa KAWAMURA, Toru NONAMI1, "Caesium and Strontium Adsorption Ability of Activated Bamboo Charcoal", 8th International Conference on Advanced Materials and Nanotechnology, Queenstown, New Zealand (2017.2.15)
- 14) Soichiro MATSUBARA, Shingo HAYAKAWA, Keishi HUKUMORI, Yusuke SUMI, Syo YAMAMOTO, Norihisa KAWAMURA, Toru NONAMI1, "The Caesium and Strontium adsorption properties of bamboo charcoal-contained concrete block", 8th International Conference on Advanced Materials and Nanotechnology, Queenstown, New Zealand (2017.2.16)
- 15) Shingo HAYAKAWA, Soichiro Matsubara, Toru Nonami, Observation of mineral content distribution in cuticular layer of bamboo charcoal depending on atmospheres in carbonization, International Union of Materials Research Societies - The 15th International Conference on Advanced Materials, Kyoto (2017.8.27-9.1)

【学会発表】

- 16) 伊藤祐樹、長谷川純一、大谷昌子、河村典久、野浪亨竹炭のセシウムの吸着特性に関する研究人間 - 生活環境系シンポジウム報告集 37, 71-72 (2013)
- 17) 伊藤祐樹、長谷川純一、大友昌子、河村典久、野浪亨：竹炭のセシウムの吸着特性に関する研究、37th Symposium on Human-Environment System (HES37) in Kobe, 71-72 (2013)
- 18) 長谷川純一、大谷昌子、河村典久、野浪亨、中京大学・竹炭プロジェクトセシウム吸着機能を有する除染用竹炭粉粒体の作製方法の開発と供給、炭と環境講演会 (2014)
- 19) 鷲見佑介、早川慎吾、佐野孝剛、福盛啓師、野浪亨、第 42 回炭素材料学会年会、大阪、2015. 12.2-4, PI10.
- 20) 今泉正彦、中村利治、石黒繁暢、飯沼佳己、野浪亨、“除染用竹炭入りラッセルネット袋の開発”、平成 27 年度炭と環境講演会、愛知県大府市 (2015.6.6)
- 21) 福盛啓師、早川慎吾、佐野孝剛、鷲見佑介、河村典久、野浪亨、“ロータリーキルンで炭化した孟宗竹の水溶液中でのセシウム・ストロンチウム吸着特性”、

日本材料学会東海支部第 10 回学術講演会（2016.3.9）

- 22) 今泉正彦、中村利治、石黒繁暢、飯沼佳己、野浪亨、“除染用竹炭入りラッセルネット袋の開発”、平成 27 年度炭と環境講演会、愛知県大府市（2015.6.6）
- 23) 野浪亨、“メソポーラスセラミックスおよび炭素化合物を用いた有害物質や臭いを吸着・分解する多機能シートの開発”、豊橋市イノベーション創出等支援事業成果発表、愛知県豊橋市（2016.2.18）
- 24) 鷲見佑介、早川慎吾、松原綜一郎、河村典久、野浪亨、“竹炭の炭化条件によるセシウム・ストロンチウムの吸着特性”、第 43 回炭素材料学会年会、千葉（2016.12）
- 25) 松原綜一郎、鷲見佑介、早川慎吾、山本翔、河村典久、野浪亨、“竹炭入りコンクリートブロックのセシウム・ストロンチウム吸着特性”、第 43 回炭素材料学会年会、千葉（2016.12.9）
- 26) 野田光祐（3 年）、小林慎也（3 年）、早川慎吾、松原綜一郎、鷲見佑介、河村典久、野浪亨、“炭化時間の違いによる粕殻炭の水溶液中のセシウム及びストロンチウムの吸着への影響”、日本熱処理技術協会中部支部講演会、名古屋（2017.3.3）
- 27) 小林慎也（3 年）、野田光祐（3 年）、早川慎吾、松原綜一郎、鷲見佑介、河村典久、野浪亨、“粕殻炭の水溶液中のセシウム及びストロンチウムの吸着特性”、日本材料学会東海支部第 11 回学術講演会、名古屋（2017.3.6）
- 28) 杉居裕之、野浪亨、チップ状竹炭を混合したインターロッキングブロックの作成とセシウムの吸着能の評価、紛体粉末冶金協会 平成 29 年度秋季大会（2017 年 11.9）
- 29) 松原綜一郎、野浪亨、Preparation of interlocking block containing rice hull charcoal for environmental preservation and evaluation of metal ion adsorption, 第 27 回日本 MRS 年次大会（横浜開港記念館）（2017.12.5）
- 30) Masato Sasaki（3 年）、S. Matubara, T. Nonami, Relationship between the amount of acidic functional groups of rice hull charcoal carbonized in nitrogen stream and adsorption ability, 第 27 回日本 MRS 年次大会、横浜市開港記念館（2017.12.5-7）
- 31) 松原綜一郎、野浪亨、竹炭を塗布した不織布の水溶液中でのセシウム・ストロンチウム吸着評価、日本材料学会東海支部 第 12 回学術講演会（岐阜大学サテライトキャンパス）（2018.3.5）
- 32) 小柳亮樹、野浪亨、竹炭粉末を電気蒸着した不織布のセシウム及びストロンチウムの吸着特性、日本材料学会東海支部第 12 回学術講演会（岐阜大学サテラ

イトキャンパス) (2018.3.5)

- 33) 小柳亮樹 (4 年)、柴田浩史、河村典久、野浪亨、Adsorption Properties of Cesium of Alkali-Treated Rice Hull Charcoal, 第 28 回日本 MRS 年次大会、北九州国際会議場 (2018. 12.18-20)
- 34) 柴田浩史 (修 2 年)、小柳亮樹、河村典久、野浪亨、Strontium Adsorption Properties of Rice Hull Charcoal Treated with Potassium Elution, 第 28 回日本 MRS 年次大会、北九州国際会議場 (2018.12.18-20)
- 35) 古田愛音 (3 年)、野浪亨、Adsorption Capacity of Cesium and Strontium by Cooling Method during Production of Bamboo Charcoal by Rotary Kiln, 第 28 回日本 MRS 年次大会、北九州国際会議場 (2018.12.18-20)
- 36) 古田愛音 (修 1 年)、藤田浩城、野浪亨、セシウム、ストロンチウムを吸着した竹炭の減容化、第 5 回材料 WEEK 若手学生研究発表会、京都テルサ (2019.10.15-18)
- 37) 古田愛音 (修 1 年)、澤田涼司、渡邉大成、野浪亨、Adsorption Properties of Cesium by Alkali-Treated Bamboo Charcoal, 第 29 回日本 MRS 年次大会、横浜情報文化センター (2019.11.27-29)
- 38) 高田麻由 (4 年)、澤田涼司、渡邉大成、野浪亨、Reduction by Combustion of Rice Hull Charcoal Adsorbed Cesium Ion and Strontium Ion in Aqueous Solution, 第 29 回日本 MRS 年次大会、横浜市開港記念会館 (2019.11.27-29)
- 39) 藤田宏城 (4 年)、加藤正夫、池下兼明、野浪亨、Evaluation of Humic Acid Adsorption Ability by Graphite Porous Sintered Body, 第 29 回日本 MRS 年次大会、横浜情報文化センター (2019.11.27-29)
- 40) 河合瞭 (3 年)、古田愛音、野浪亨、Cesium and Strontium Adsorption Characteristics of Alkali-treated Rice Hull Charcoal in Artificial Seawater, 第 29 回日本 MRS 年次大会、横浜情報文化センター (2019.11.27-29)
- 41) 竹内千晴 (3 年)、古田愛音、野浪亨、Characterization of Alkali-Treated Rice Hull Charcoal, 第 29 回日本 MRS 年次大会、横浜情報文化センター (2019.11.27-29)

【表彰】

- 42) 研究奨励賞 第 27 回マイクロエレクトロニクスシンポジウム 受賞者：早川慎吾
- 43) 研究奨励賞 第 27 回日本 MRS 年次大会 (横浜開港記念館, 2017 年 12 月) にて受賞「Preparation of interlocking block containing rice hull charcoal for environmental preservation and evaluation of metal ion adsorption」 受賞者：

松原綜一郎、野浪亨、他

- 44) 優秀講演賞（学術部門）本材料学会東海支部第 12 回学術講演会（岐阜大、2018 年 3 月 5 日）にて受賞「竹炭を塗布した不織布の水溶液中でセシウム・ストロンチウム吸着評価」受賞者：松原綜一郎

【新聞・報道】

- 45) “竹炭で放射性物質を吸着・除去野浪教授らのチームが実証”毎日新聞 (2013.11)
- 46) “竹炭でセシウム吸着・除去”、中日新聞 (2013.11)
- 47) “竹炭でセシウム吸着”、読売新聞 (2013.11)
- 48) “竹炭で放射性物質を吸着・除去野浪教授らのチームが実証”、日刊工業新聞 (2013.11)
- 49) “竹炭除染に効果あり”、朝日新聞 (2013.11)
- 50) “竹炭でセシウム吸着”、日刊工業新聞, 12 面 (2014.8.4)
- 51) “網×炭 除染に強み 中京大と豊橋の漁網メーカー 汚染土保管袋を共同開発”、中日新聞 (2015.1.28)
- 52) “初殻炭に高吸着性 中京大確認ゼオライトの 1.8 倍”、日刊工業新聞 (2017.3.3)

【テレビ報道】

- 53) 中京大学竹炭プロジェクト、メ～テレ (2013.11)
- 54) 中京大学竹炭プロジェクト、CBC (2013.11)
- 55) 「ココに福あり」、NHK 総合(2018 年 3.8)

【展示・デモ】

- 56) 長谷川純一、野浪亨、大友昌子、“中京大学「竹炭プロジェクト」の概要”、平成 26 年度炭と環境講演会・総会、愛知県大府市 (2014.5.24)
- 57) 野浪亨、“メソポーラスセラミックスおよび炭素化合物を用いた有害物質や臭いを吸着・分解する多機能シートの開発”、豊橋市イノベーション創出等支援事業成果発表、愛知県豊橋市 (2015.3)
- 58) 野浪研究室 竹炭の効果等の研究成果およびコンクリート固化物の展示、ポートメッセ名古屋 下水道展 (2016.7.26～29)
- 59) 野浪研究室 竹炭の効果等の研究成果展示 東京ビックサイトにて、イノベーションジャパン (大学見本市) JST、NEDO 主催 (2019.8.29～31)

【研究連携】

- 60) ㈱サイエンスクリエイト、福井ファイバーテック㈱と竹炭を用いた多機能シートの委託研究（豊橋市イノベーション創出等支援事業）(2014.4.1～2016.3.31)

- 61) M 社と竹炭の効果実証研究における共同研究 (2014.4.1 ~ 2015.3.31)
 - 62) M 社との竹炭効果実証研究において共同研究 (2015.4.1 ~ 2016.3.31)
 - 63) 縫製機械メーカー C 社と除染用竹炭粉粒体の作成方法の委託研究 (2015.10.1 ~ 2016.6.30)
 - 64) 大手エンジニアリング会社 J 社と福島県除染活動に竹炭の使用可能性の技術相談 (2015.4.10)
 - 65) 縫製機械メーカー C 社と竹炭粉粒体およびそれを用いたコンクリートブロックによる環境浄化機能評価の委託研究 (2016.6.1 ~ 2017.11.30)
 - 66) 鉄鋼関連メーカー K 社と竹炭の研究に関する技術連携始まる (2016 年度 ~ 現在)
 - 67) 環境改善材料メーカー Y 社と竹炭・珪殻炭に関する技術相談 (2017.4.25)
 - 68) ㈱サイエンスクリエイト、福井ファイバーテック㈱とリン吸着機能を有するコンクリートブロックの開発に関する委託研究 (豊橋市イノベーション創出等支援事業) (2017.4.1 ~ 2018.3.31)
 - 69) 奨学寄附金で㈱環境改善材料メーカー S 社と技術連携 (2017.4.1)
 - 70) 鉄鋼関連メーカー K 社と竹炭・珪殻炭配合の環境適合木材資材に関する共同研究 (2017.9.19 ~ 2018.3.31)
 - 71) 大手農業機械・プラントメーカー KA 社来学 珪殻炭に関して技術相談 (2017.4.18 ~ 現在) 2017.8.8 KA 社の珪殻炭製造プラント視察
 - 72) 大手製鉄メーカー DA 社来学 珪殻炭に関して技術相談 (2017.6.5)
 - 73) ㈱サイエンスクリエイト、福井ファイバーテック㈱とリン吸着機能を有するコンクリートブロックの開発の委託研究実施 (豊橋市イノベーション創出等支援事業) (2018.4.1 ~ 2019.3.31)
 - 74) 仙台の環境改善活動家 M 氏と珪殻炭により福島除染に関して技術相談。現在技術交流中 (2018.9.11 ~ 現在)
 - 75) 大手農業機械・プラントメーカー YE と珪殻炭の評価実証に関する委託研究 (2019.8.1 ~ 2020.3.31)
 - 76) 広島 of NPO の S 氏よりセシウム土壌汚染対策の技術相談 (2019.10.1)
 - 77) 奨学寄附金で㈱環境改善材料メーカー S 社と技術連携 (2019.4.1)
- 【行政等の研究助成金獲得活動】
- 78) 2013 年度 豊橋市イノベーション創出等支援事業に応募
 - 79) 2017 年度 豊橋市イノベーション創出等支援事業に応募
 - 80) 2017 年度 環境省 環境研究総合推進費獲得に向け JFCC (ファインセラミックスセンター) と共同で応募

- 81) 2018 年度 環境省 環境研究総合推進費獲得に向け JFCC（ファインセラミックスセンター）と共同で応募
- 82) 2018 年度 サポイン事業（革新的ものづくり産業創出連携促進事業）に環境改善材料メーカー S 社と共働で応募

【特許出願】

- 83) 特願 2017-088019「コンクリート固化物, コンクリート固化物の製造方法, およびコンクリート固化物を利用したリン回収方法」(2017.4.27)
- 84) 特願 2019-044077「改質珪殻炭、その製造方法および当該改質珪殻炭を用いた吸着剤」(2019.3.12)

【Web 公開】

- 85) 2013.11.25 Web 発表（国内向け）
題目：竹炭で放射性物質の吸着除去 工学部の野浪教授らが実証
- 86) 2014.03.02 Web 発表（海外向け）
発信者：ジャパン・フォー・サステナビリティ
題目：Chukyo University Proves Potential of Bamboo Charcoal to Adsorb and Remove Radioactive Substances
掲載先：http://www.japanfs./en/news/archives/news_ido34717.html